

基于可计算一般均衡模型的张掖市水资源调控模拟研究

王 勇^{1,2}, 肖洪浪², 邹松兵², 李彩芝², 任 娟², 陆明峰²

(1. 中国科学院 烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003

2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 生态水文与流域科学重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 引入可计算一般均衡模型作为张掖市水资源调控研究的基础工具, 模拟计算了张掖市将种植业部门生产规模和产品输出 调控在不同水平时的社会经济运行情况。结果表明: 现有生产条件下, 缩减种植业部门产品的生产或向外输出均有利于国民经济生产中水资源的优化配置, 并促进张掖市社会经济的发展; 相对于控制种植业部门的生产规模来说, 控制种植业部门产品的向外输出水平不仅能使张掖市取得更好的社会效益, 而且还能从经济生产用水中节约出 $7\,746.82 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的水资源, 可用于张掖市社会经济生活的消耗或黑河流域中下游的生态环境建设。

关 键 词: 可计算一般均衡模型; 水资源; 种植业; 产品生产; 产品输出

中图分类号: F062.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3037(2010)06-0959-08

张掖市位于黑河流域中游, 集中了全流域 95% 的耕地、91% 的人口和 89% 的 GDP, 是流域内主要的灌溉农业区^[1]。2002 年, 全市总用水 $22.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中, 农业用水 $21.1 \times 10^8 \text{ m}^3$, 约占全部用水量的 93%, 远远超过世界平均水平的 65%。发达的灌溉农业使张掖市发展成为甘肃省重要的商品粮生产基地^[2]。1978 年以来, 张掖市累计向国家提供商品粮 $47 \times 10^8 \text{ kg}$ 。从区域水安全角度来看, 大量水资源密集型农产品的输出将会造成当地虚拟水的巨大损失。据测算, 从 1995 年开始, 张掖市每年向外输出的虚拟水数量已超过当地社会生活的水资源消耗量^[3]。在一定程度上, 过度失衡的用水结构和大量农产品及其包含虚拟水的向外输出已严重降低了张掖市水资源的利用效率和效益。因此, 种植业生产规模过大、用水过多以及产品输出造成虚拟水的大量损失已成为张掖市当前较为严重的水问题^[4-5]。在可利用水资源有限的情况下, 调控种植业部门的生产规模, 并减少虚拟水的向外输出成为维持水资源这种张掖市最关键自然资产可持续利用的一个重要措施。本文引入可计算一般均衡 (Computable General Equilibrium, CGE) 模型作为水资源利用研究的基础工具, 模拟计算了张掖市将种植业生产规模和产品输出控制在不同水平时的社会经济运行情况, 研究结果可为张掖市水资源调控方案的制定与实施提供科学依据。

1 方法与数据

CGE 模型源于瓦尔拉斯的一般均衡理论, 它最显著的特点就是将整个经济系统作为研

收稿日期: 2009-07-29; 修订日期: 2010-03-29

基金项目: 国家自然科学基金“基于 GIS 的黑河流域典型植物种潜在分布研究”(40801021); 国家水体污染控制与治理科技重大专项子课题“黑河流域水生态功能一级二级分区研究”(2008ZX07526-002-05)。

第一作者简介: 王勇(1978-), 男, 山东滨州人, 助理研究员, 博士, 主要从事区域经济与可持续发展方面的研究。

E-mail: yongwang@yic.ac.cn

研究对象,全面考察系统中各种商品和要素的供给、需求和供求变化关系^[6]。模型涵盖了多个优化机制,如生产者在生产技术一定的条件下通过最小化其投入成本实现利润最大化目标;消费者在受收入水平的限定条件下,通过消费物品的偏好选择,实现其消费效用最大化目标;产品的流通则在总产出水平一定的条件下,通过价格传导机制实现其在区内销售和区外销售的收益最大化目标等^[6-8]。以上优势使 CGE 模型能够在社会经济系统的各个组成部分之间建立起数量联系,从而可以全面考察任何来自系统内外的冲击对整个社会经济系统产生的影响。在此基础上,加入相应的环境要素模块,就能将 CGE 模型的分析功能由宏观经济领域扩展到资源环境领域。目前,CGE 模型已广泛应用于资源利用、能源消耗以及污染排放与控制等方面的研究,并已成为一种规范的环境政策分析工具^[9-14]。

在本研究中,CGE模型的构建过程可概括如下:首先,结合实地调研和调查,掌握张掖市国民经济运行及其水资源使用的基本情况;其次,梳理张掖市社会经济系统各构成部分之间的相互作用关系,并围绕着各经济主体的行为优化决策机制和市场的调节作用,构建反映各构成部分之间相互联系的数学表达式;再次,对建立的数学表达式进行整理,形成 CGE 模型的 7 个模块,即价格模块、生产模块、商品销售模块、收入分配模块、开支模块、宏观均衡模块以及水资源扩展模块。其中,在水资源扩展模块中,将水资源作为生产要素纳入模型,并设定各产业部门的产品生产与水资源需求表现为一种刚性的线形关系。这样就可以通过控制各产业部门的生产规模和产品输出水平以实现模型对张掖市国民经济生产用水的调控模拟。限于篇幅,模型的具体结构、方程表达、参数估计以及求解过程可参见文献[15]。

模型运行所需的社会核算矩阵是在张掖市 2002 年投入产出表的基础上,结合张掖市统计年鉴以及财政收支表编制而成,编制过程参考了北京市社会核算矩阵和中国社会核算矩阵的编制^[16-17]。其中,张掖市 2002 年投入产出表是基于张掖市 2002 年经济数据,采用常用于投入产出表调整的 RAS 法^[18]对陈东景编制的张掖市 2000 年投入产出表^[19]进行数据更新,并重新平衡而获得的。各产业部门的用水量则综合参考了甘肃省水利厅《甘肃 2002 年水资源公报》张掖市水利局《农田灌溉统计年报》以及环保局《2002 年张掖市环境保护统计报表》中的数据。

2 情景设计

从当前研究和张掖市实际情况来看,降低种植业部门用水量和减少农产品及其包含虚拟水的输出是提高张掖市水资源利用效益的有效途径^[4-5]。鉴于此,本研究分别从调控种植业部门的生产规模和产品对外输出数量方面设置了 4 个情景进行模拟。

调控种植业部门的生产规模以降低其用水量:情景一,在当前现有生产条件下,缩减种植业部门的产品生产数量,并保持区域经济生产供水不变;情景二,在当前现有生产条件下,缩减种植业部门的产品生产数量,并将节省下来的水资源从经济生产供水中抽出。

调控种植业产品的对外输出以减少区域虚拟水流失:情景三,在当前现有生产条件下,缩减种植业产品的对外输出量,并保持区域经济生产供水不变;情景四,在当前现有生产条件下,缩减种植业产品的对外输出量,并将节省下来的水资源从经济生产供水中抽出。

在情景一和情景三中,区域经济生产供水总量不变并可在各产业部门间重新分配;在情景二和情景四中,区域经济生产供水总量有所减少,但剩余水资源可在各产业部门间重新分配。此外,上述 4 个情景的模拟都是基于张掖市现有生产条件开展的,不需要额外追加资金的投入,但是现有资金却可以在各产业部门间流动,以提高其利用效率。

3 结果与分析

图 1 给出了 4 种情景的模拟计算结果, 各横坐标表示种植业部门生产规模或产品输出水平的控制量, 即种植业部门产值或出口的减少量; 纵坐标表示不同控制水平下各经济指标的相对变化情况, 其中, 模拟之前的初始状态定为 1。从总体上来看, 除情景二外, 在其它 3 个情景中, 随着对种植业产品生产或出口控制程度的加大, 地区 GDP 部门产出以及经济生产对劳动力的需求等相对重要的国民经济指标均呈现先增加、后降低的变化趋势, 这说明在一定范围内, 适当控制种植业部门的生产规模和产品输出水平可有助于张掖市社会经济的发展。

图 1(a)和图 1(b)从控制种植业部门生产规模角度分别给出了情景一和情景二的模拟计算结果, 其中, 种植业部门的初始产值为 $320\,529.57 \times 10^4$ 元。图 1(a)结果显示, 当种植业部门的产值降低 $1\,200.00 \times 10^4$ 元时, 张掖市各类产品总产出达到最大, 增长 1.52%; 当种植业部门的产值降低 $2\,100.00 \times 10^4$ 元时, 张掖市地区 GDP 和经济生产对劳动力的需求分别增长 2.13% 和 2.20%, 达到模拟计算的最大值; 由于受资金和水资源可支配数量的限制, 当种植业部门的产值降低 $3\,493.24 \times 10^4$ 元时, 模型不再获得可行解。综合以上结果, 可以看出将种植业部门的生产规模控制在 $318\,429.57 \times 10^4 \sim 319\,329.57 \times 10^4$ 元时, 张掖市能够获得更好的社会经济效益。

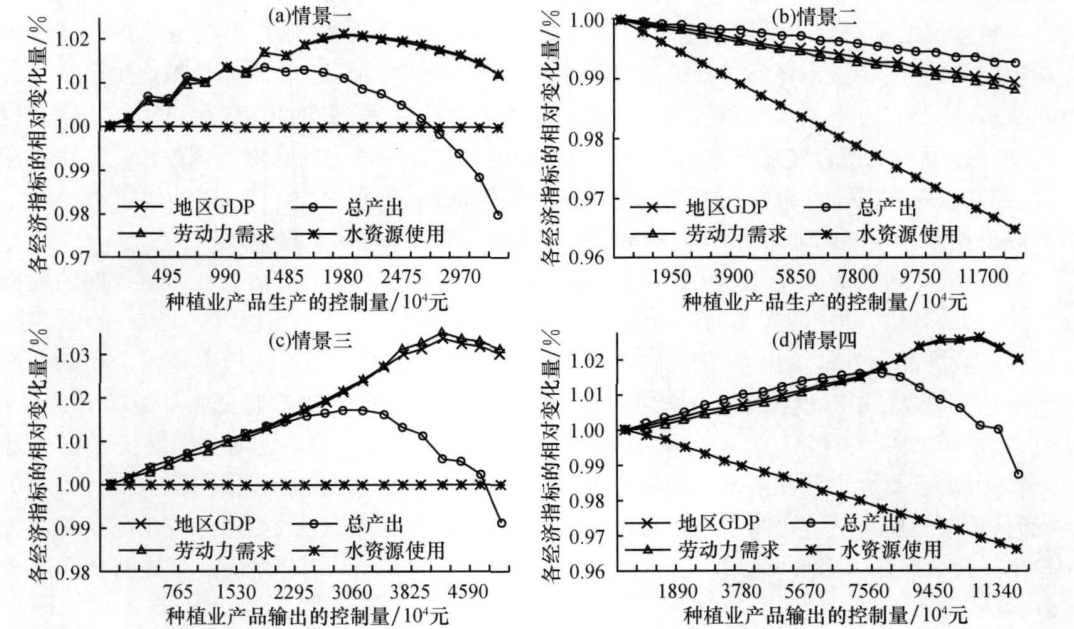


图 1 各情景下张掖市国民经济的模拟运行情况

Fig 1 The simulated operation of Zhangye economy under four scenarios

张掖市更优社会效益的获得主要得益于水资源和资金等生产要素在社会经济系统内的重新配置。如表 1 所示, 当种植业部门生产规模降低 $2\,100.00 \times 10^4$ 元时, 就分别有 0.67% 和 6.20% 的水资源由种植业和服务业部门流入工业、畜牧业以及林渔等其它农业部门。较之水资源, 资金重新配置的力度则更大一些。由于模拟考虑了多个优化决策机制, 水

资源和资金的重新配置主要是各经济主体行为优化和调整的结果。

表 1 情景一中张掖市国民经济达到最佳状态时的模拟计算结果
Table 1 The simulated results of scenario one as Zhangye economy achieves the best situation

| | 种植业 | 畜牧业 | 其它农业 | 工业 | 服务业 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 产品产出变化 | 0.993 5 | 1.021 6 | 1.065 8 | 1.052 9 | 0.939 4 |
| 产品输出变化 | 0.964 7 | 1.033 7 | 1.118 3 | 1.094 0 | 0.837 2 |
| 外地产品输入变化 | 1.023 6 | 1.000 3 | 1.059 3 | 0.980 9 | 1.070 2 |
| 劳动力需求变化 | 1.019 4 | 0.979 8 | 0.835 2 | 0.901 3 | 1.161 2 |
| 资金使用变化 | 0.840 4 | 1.491 8 | 2.991 4 | 1.261 3 | 0.701 9 |
| 水资源使用变化 | 0.993 3 | 1.021 6 | 1.065 0 | 1.052 7 | 0.938 0 |

注：表中数据均为相对初始状态的相对变化量，表 2与表 3采用了同样的数值表示方法。

对于情景一来说，尽管种植业和服务业部门的产品产出有所降低，但它们却能吸纳更多的社会劳动力，如表 1所示，种植业和服务业两个部门分别最多能够增加 1.94% 和 16.12% 的劳动力使用。此时，尽管工业、畜牧业以及林渔等其它农业部门对劳动力的使用有所减少，但是种植业和服务业部门对劳动力使用的增加还是从整体上扩大了张掖市经济生产对劳动力的需求[图 1(a)]。此外，限制种植业产品的生产还能扩大外地种植业产品的流入，如表 1显示，外地种植业产品的流入量最多能够增加 2.36%。这类产品具有较高的虚拟水含量，它们的流入能使张掖市在商品贸易中获得更多的虚拟水输入。

情景二的模拟计算结果完全不同于情景一，如图 1(b)所示，随着对种植业生产规模限制程度的加大，张掖市各经济指标均呈现不断下降的趋势。因此，在限制种植业生产规模的同时，若将节省下来的水资源从国民经济生产用水中抽出，张掖市的国民经济生产将会有所收缩。这说明通过直接缩减种植业部门的生产用水是一种僵硬的水资源调控模式。由于在可行解的模拟范围内，计算结果始终保持这种下降的趋势，因而图 1(b)仅给出了种植业生产规模控制在 $307\,529.57\times10^4\sim320\,529.57\times10^4$ 元范围内的计算结果。

图 1(c)和图 1(d)从控制种植业产品对外输出角度分别给出了情景三和情景四的模拟计算结果，其中，种植业产品的初始输出量为 $117\,984.60\times10^4$ 元。图 1(c)结果显示，当限制种植业产品向外地输出，并使其输出量降低 $3\,200.00\times10^4$ 元时，张掖市各类产品的总产出量达到最大，相对模拟之前增长 1.73%；当种植业产品的输出量降低 $4\,400.00\times10^4$ 元时，张掖市 GDP 与经济生产对劳动力的需求达到最大，相对于模拟之前分别增长 3.27% 和 3.42%；由于受水资源和资金可使用总量的限制，当种植业产品输出量降低 $5\,082.70\times10^4$ 元时，模型不能再获得可行解。综合以上结果，可以看出在情景三中，将种植业产品的对外输出量控制在 $114\,784.60\times10^4\sim113\,584.60\times10^4$ 元时，张掖市能够获得更好的社会效益。

情景四与情景三在模拟趋势上有一定的相似性，但情景四中具有更大的调控自由度，如种植业产品输出的最大可调控量为 $12\,526.74\times10^4$ 元，远远超出情景三 $5\,082.70\times10^4$ 元的可调控范围。在可调控范围内，模拟计算结果显示，当种植业部门产品的输出量控制在 $107\,184.60\times10^4\sim110\,184.60\times10^4$ 元范围内，张掖市能获得更好的社会效益[图 1(d)]。

模型构建时，由于各产业部门的产出表示为各部门产品区内消耗和对外输出的不变转换弹性函数^[6 8]，因而在一定的产品区内与区外配置弹性下，种植业部门输出产品数量的减

少就会引起该部门生产规模的降低(表 2)。当种植业部门产品的输出受到限制时, 水资源和资金等生产要素在国民经济生产中的重新配置对工业以及林渔等其它农业的发展非常有利, 如情景三的模拟结果显示, 以上 2 个产业部门的产值分别增加 6.89% 和 3.11% (表 2), 而情景四则能使它们分别增加 7.70% 和 1.47% (表 3)。此外, 尽管控制产品输出降低了种植业部门的产品产出量, 但是却能够增加外部地区农产品的输入机会。如表 2 与表 3 所示, 当种植业部门产品的输出受到限制后, 基于情景三的调控模式可使种植、畜牧以及林渔等其它农业的外地产品流入张掖市的数量分别增加 3.18%、2.38% 和 3.22%, 基于情景四的调控模拟则可使它们的流入数量分别增加 2.71%、2.79% 和 1.57%。这些水资源密集型农产品的流入从一定程度上可以缓解张掖市当前虚拟水贸易逆差的形势。

表 2 情景三中张掖市国民经济达到最佳状态时的模拟计算结果
Table 2 The simulated results of scenario three as Zhangye economy achieves the best situation

| | 种植业 | 畜牧业 | 其它农业 | 工业 | 服务业 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 产品产出变化 | 0.995 7 | 1.013 7 | 1.031 1 | 1.068 9 | 0.902 4 |
| 产品输出变化 | 0.962 7 | 1.013 2 | 1.052 5 | 1.125 2 | 0.753 5 |
| 外地产品输入变化 | 1.031 8 | 1.023 8 | 1.032 2 | 0.974 0 | 1.113 9 |
| 劳动力需求变化 | 1.020 9 | 0.980 8 | 0.910 8 | 0.845 3 | 1.250 2 |
| 资金使用变化 | 0.846 3 | 1.367 8 | 1.743 2 | 1.404 1 | 0.576 4 |
| 水资源使用变化 | 0.995 5 | 1.013 7 | 1.030 9 | 1.068 7 | 0.899 3 |

表 3 情景四中张掖市国民经济达到最佳状态时的模拟计算结果
Table 3 The simulated results of scenario four as Zhangye economy achieves the best situation

| | 种植业 | 畜牧业 | 其它农业 | 工业 | 服务业 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 产品产出变化 | 0.964 3 | 0.991 1 | 1.014 7 | 1.077 0 | 0.906 2 |
| 产品输出变化 | 0.908 5 | 0.979 4 | 1.024 4 | 1.140 7 | 0.760 5 |
| 外地产品输入变化 | 1.027 1 | 1.027 9 | 1.015 7 | 0.966 4 | 1.109 1 |
| 劳动力需求变化 | 1.013 0 | 0.961 3 | 0.943 2 | 0.836 8 | 1.246 1 |
| 资金使用变化 | 0.700 5 | 1.307 6 | 1.382 3 | 1.443 8 | 0.584 8 |
| 水资源使用变化 | 0.963 7 | 0.991 1 | 1.014 7 | 1.076 6 | 0.903 3 |

在针对种植业部门产品产出或对外输出所设立的 4 个情景中, 除基于情景二的调控模式不利于张掖市社会经济的发展外, 基于情景一、情景三和情景四的调控模式均能促进张掖市社会经济的发展。若仅从所取得的社会经济效益来看, 基于情景三的调控模式要优于基于情景一和情景四的调控模式。如表 4 所示, 在当前现有的生产条件下, 基于情景三的调控模式能够使张掖市 GDP 增加 3.27%, 使劳动力就业扩大 3.42%; 相比之下, 基于情景一和情景四的调控模式所取得的社会经济效益则相对小一些。但是从区域生态环境建设意义上来讲, 基于情景四的调控模式可以降低张掖市国民经济生产的用水量。如表 4 所示, 基于情景四的调控模式不仅能使张掖市 GDP 和劳动力就业分别增加 2.58% 和 2.64%, 而且还能节省 $7\,746.82 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的水资源, 这相当于种植业部门总用水的 4.10%。此外, 基于情景四的调控模式还能使张掖市在区域贸易中减少 $5\,756.79 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的虚拟水损失(表 4)。因此, 从张掖市生态环境建设和水资源可持续利用角度来看, 这种调控模式可以取得较为理想的效果。

表 4 张掖市国民经济达到最佳状态时各情景模拟结果的对比

Table 4 The comparison of four simulated results as Zhangye economy achieves the best situation

| | | 控制种植业部门产品产出 | | 控制种植业部门产品输出 | |
|--|---------------------------------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| | | 情景一 | 情景二 | 情景三 | 情景四 |
| 最佳控制量 /10 ⁴ 元 | | 2 100. 00 | 0. 00 | 4 400. 00 | 10 800. 00 |
| 水资源节约量 /10 ⁴ m ³ | | 0. 00 | 0. 00 | 0. 00 | 7 746. 82 |
| 地区 GDP增加 % | | 2. 15 | 0. 00 | 3. 27 | 2. 58 |
| 劳动力需求增加 % | | 2. 20 | 0. 00 | 3. 42 | 2. 64 |
| 产品总产出增加 % | | 0. 95 | 0. 00 | 0. 69 | 0. 41 |
| 产 品 | 输出变化 /10 ⁴ 元 | - 2 831. 07 | 0. 00 | - 6 444. 62 | - 11 517. 79 |
| | 输入变化 /10 ⁴ 元 | 427. 27 | 0. 00 | 2 276. 36 | - 1 052. 98 |
| | 净输出变化 /10 ⁴ 元 | - 3 258. 34 | 0. 00 | - 8 720. 98 | - 10 464. 80 |
| 虚 拟 水 | 输出变化 /10 ⁴ m ³ | - 1 384. 77 | 0. 00 | - 1 741. 35 | - 6 505. 42 |
| | 输入变化 /10 ⁴ m ³ | - 47. 61 | 0. 00 | - 282. 61 | - 748. 63 |
| | 净输出变化 /10 ⁴ m ³ | - 1 337. 17 | 0. 00 | - 1 458. 73 | - 5 756. 79 |

4 结论

(1) 在当前现有生产条件下, 限制种植业产品的生产或向外输出均有助于水资源在张掖市国民经济生产中的配置, 利于区域社会经济的发展。可以看出, 面对有限的水资源供给能力的情况下, 调整和控制种植业部门的生产规模或产品输出水平以控制种植业部门的水资源使用和优化区域水资源配置, 这成为缓解张掖市水资源短缺的一个重要手段。

(2) 相对于控制种植业部门的生产规模来说, 控制种植业部门的产品向外输出水平可使张掖市取得更好的社会效益和生态环境效果。模拟计算结果表明, 控制限制种植业产品的向外输出不仅能提高张掖市的产品总产出, 增加地区 GDP 以及扩大劳动力的就业, 而且还能从国民经济生产用水中节约出 $7\,746.82 \times 10^4\text{m}^3$ 的水资源, 可用于当地社会经济生活的消耗或黑河流域中下游生态环境的建设。

参考文献 (References):

[1] 李启森, 赵文智, 冯起, 等. 黑河流域及绿洲水资源可持续利用理念及对策 [J]. 自然资源学报, 2005, (3): 370-377 [LI Q i-sen, ZHAO W en-zhi, FENG Q i et al. Conception and countermeasures about sustainable utilization of water resource in the oasis of Heihe River Basin. *Journal of Natural Resources*, 2005 (3): 370-377.]

[2] 张勃, 石惠春. 河西地区绿洲资源优化配置研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2004 [ZHANG Bo, SHI Hui-chun. The Optimization Allocation of Oasis Resource in Hexi Region. Beijing: Science Press, 2004.]

[3] 龙爱华. 水资源账户与社会化管理研究——以黑河流域张掖市为例 [D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2004. [LONG A i-hua. Study on Water Resource Accounting and Socialization Management—Take Zhangye Prefecture in Heihe Watershed as a Case. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, 2004.]

[4] 肖洪浪, 程国栋. 黑河流域水问题与水管理的初步研究 [J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 1-5. [XIAO Hong-lang, CHENG Guo-dong. Water issue and management at basin level in Heihe River, Northwestern China. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(1): 1-5.]

[5] 程国栋. 黑河流域可持续发展的生态经济学研究 [J]. 冰川冻土, 2002, 24(4): 335-341. [CHENG Guo-dong. Study on the sustainable development in Heihe River watershed from the view of ecological economics. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(4): 335-341.]

- [6] 郑玉歆, 樊明太. 中国 CGE 模型及政策分析 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 1999. [ZHENG Yu-xin, FAN Ming-tai. China CGE Model and Policy Analysis. Beijing: Social Scientific Document Publishing House, 1999.]
- [7] Francisco G G, Jorge S A. The impacts of trade on the Brazilian labor market: A CGE model approach [J]. *World Development*, 2003, 31(9): 1581-1595.
- [8] Patridge M D, Rickman D S. Regional computable general equilibrium modeling: A survey and critical appraisal [J]. *International Regional Science Review*, 1998, 21(3): 205-248.
- [9] 沈大军, 梁瑞驹, 王浩, 等. 水价理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 1999. [SHEN Da-jun, LIANG Ru+ju, WANG Haq, et al. Water Price Theory and Practice. Beijing: Science Press, 1999.]
- [10] Bye B. Environmental tax reform and producer foresight: An intertemporal computable general equilibrium analysis [J]. *Journal of Policy Modeling*, 2000, 22(6): 719-752.
- [11] Wajsnan N. The use of computable general equilibrium models in evaluating environmental policy [J]. *Journal of Environmental Management*, 1995, 44(2): 127-143.
- [12] Nick D H, Peter G M, Swales J K, et al. The impact of a stimulus to energy efficiency on the economy and the environment: A regional computable general equilibrium analysis [J]. *Renewable Energy*, 2006, 31(2): 161-171.
- [13] Benitella M, Hoekstra A Y, Rehdanz K, et al. The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis [J]. *Water Research*, 2007, 41(8): 1799-1813.
- [14] 赵永, 王劲峰, 蔡焕杰. 水资源问题的可计算一般均衡模型研究综述 [J]. 水科学进展, 2008, 19(5): 756-762. [ZHAO Yong, WANG Jin-feng, CAI Huan-jie. Review of CGE models on water resources. *Advances in Water Science*, 2008, 19(5): 756-762.]
- [15] 王勇, 肖洪浪, 任娟, 等. 基于 CGE 模型的张掖市水资源利用研究 [J]. 干旱区研究, 2008, 25(1): 28-34. [WANG Yong, XIAO Hong-lang, REN Juan, et al. Study on water resources utilization in Zhangye City based on CGE model. *Arid Zone Research*, 2008, 25(1): 28-34.]
- [16] 段志刚, 冯珊, 岳超源. 北京市社会核算矩阵的编制 [J]. 统计研究, 2003, (12): 35-38. [DUAN Zh+gang, FENG Shan, YUE Chao-yuan. The construct of social accounting matrix of Beijing. *Statistical Research*, 2003, 12: 35-38.]
- [17] 翟凡, 李善同. 中国经济的社会核算矩阵 [J]. 数量经济与技术经济研究, 1996, (1): 42-48. [ZHA I Fan, LI Shan-tong. The social accounting matrix of Chinese economics. *Quantitative and Technical Economics*, 1996, (1): 42-48.]
- [18] Toh H. The RAS approach in updating IO matrices: An instrumental variable interpretation and analysis of structure change [J]. *Economic Systems Research*, 1998, 10(1): 63-78.
- [19] 陈东景. 环境经济综合核算的理论与实践 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005. [CHEN Dong-jing. The Theory and Practice of the System of Integrated Environmental and Economic Accounting. Zhengzhou: Yellow River Water Conservation Publication, 2005.]

Study and Simulation on Water Resources Regulation in Zhangye City Based on CGE Model

WANG Yong^{1, 2}, XIAO Hong-lang², ZOU Song-bing², LI Cai-zhi², REN Juan², LU Ming-feng²

(1. Yantai Institute of Coastal Research, CAS, Yantai 264003, China)

2 Key Laboratory of Ecohydrology and River Basin Science, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract As a powerful tool for policy analysis, the Computable General Equilibrium Model has been introduced to study the regulation of water resources in Zhangye City. Based on this model, the study has simulated the changes of the operation of Zhangye economy as the production scale and products exportation of planting sector were controlled in different levels. It is shown that the restriction of the planting sector's production scale and products exportation under current existing production conditions would be helpful to the allocation of water resources and the development of socio-economy in Zhangye City. However, compared to the restriction of the planting sector's production scale, restriction of the planting sector's products exportation could make Zhangye achieve better socio-economic benefits and ecological effects. The calculated results show that the limitation of the products exportation of planting sector would not only increase regional production, Gross Domestic Product and employment, but also save 77.5 million m³ of water from the regional production process, which could be used for the consumption of social life or construction of environment in the middle and lower reaches of the Heihe River Basin.

Key words CGE model; water resources; planting sector; products production; products export